

УДК 621.515

## АПРОБАЦИЯ МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ЦЕНТРОБЕЖНОГО ГАЗОВОГО КОМПРЕССОРА

### TESTING OF THE FLOWING PART DESIGN METHOD IN THE CENTRIFUGAL GAS COMPRESSOR

**Бубнов Александр Дмитриевич**, студент каф. «Турбины и двигатели», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 5. E-mail: [alexandrbubnov21@rambler.ru](mailto:alexandrbubnov21@rambler.ru). Тел.: +7 (343) 375-48-51.

**Блинов Виталий Леонидович**, к.т.н., старший преподаватель каф. «Турбины и двигатели», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 5. E-mail: [vithomukyn@mail.ru](mailto:vithomukyn@mail.ru). Тел.: +7 (343) 375-48-51.

**Комаров Олег Вячеславович**, к.т.н., доцент каф. «Турбины и двигатели», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 5. Тел.: +7 (343) 375-48-51.

**Alexander D. Bubnov**, Student, Department «Turbines and engines», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, S. Kovalevskoy street, 5, Ekaterinburg, Russia. E-mail: [alexandrbubnov21@rambler.ru](mailto:alexandrbubnov21@rambler.ru). Ph.: +7 (343) 375-48-51.

**Vitaly L. Blinov**, Ph.D. in Engineering, Senior Lecturer, Department «Turbines and engines», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, S. Kovalevskoy street, 5, Ekaterinburg, Russia. E-mail: [vithomukyn@mail.ru](mailto:vithomukyn@mail.ru). Ph.: +7 (343) 375-48-51.

**Oleg V. Komarov**, Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Department «Turbines and engines», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, S. Kovalevskoy street, 5, Ekaterinburg, Russia. Ph.: +7 (343) 375-48-51.

**Аннотация:** В работе кратко описывается разработанная методика проектирования проточной части центробежного компрессора, опирающаяся на подходы отечественных авторов. Реализовано автоматическое профилирование лопаточного аппарата компрессора и его меридиональных обводов на основании данных расчетов, что позволяет получать файлы с геометрий проточной части для дальнейшего использования в различных CAD/CAE программных пакетах. Проведена апробация программного кода на примере проектирования реального центробежного компрессора.

**Abstract:** The paper describes the developed methodology of design the centrifugal compressor flowing part, based on the approaches of Russian researchers. The blade profiling of compressor and its meridional contours are implemented on the basis of calculations, which allow to receive all geometry files of the flowing part for further automatical usage in some CAD/CAE-programs. Approbation of the in-house code is carried out on the example of the real centrifugal compressor design.

**Ключевые слова:** Центробежный компрессор; проточная часть; проектирование; вычислительная газовая динамика.

**Key words:** Centrifugal compressor; flowing part; design; computation fluid dynamics.

Компрессорными машинами, к числу которых относятся и центробежные компрессоры (ЦБК), принято называть такие машины, в которых механическая энергия привода используется для увеличения потенциальной и кинетической

энергии газа. Они используются почти во всех отраслях промышленности, в том числе и для транспортировки газа по магистральным газопроводам. В настоящее время разработано множество методик одно и двумерного

проектирования ЦБК [1-3]. В общем, проектирование проточной части компрессора заключается в получении на основании данных вариантных расчетов первоначальной геометрии и последующей ее оптимизационной доводке с использованием современных программных комплексов численной газовой динамики.

Структурная схема реализованной в работе методики представлена на рис. 1. В ее основе лежат отечественные подходы к проектированию центробежных компрессоров [1-3]. В настоящей работе представленная методика реализована в виде программного кода по средствам языка программирования VBA в MS Excel.

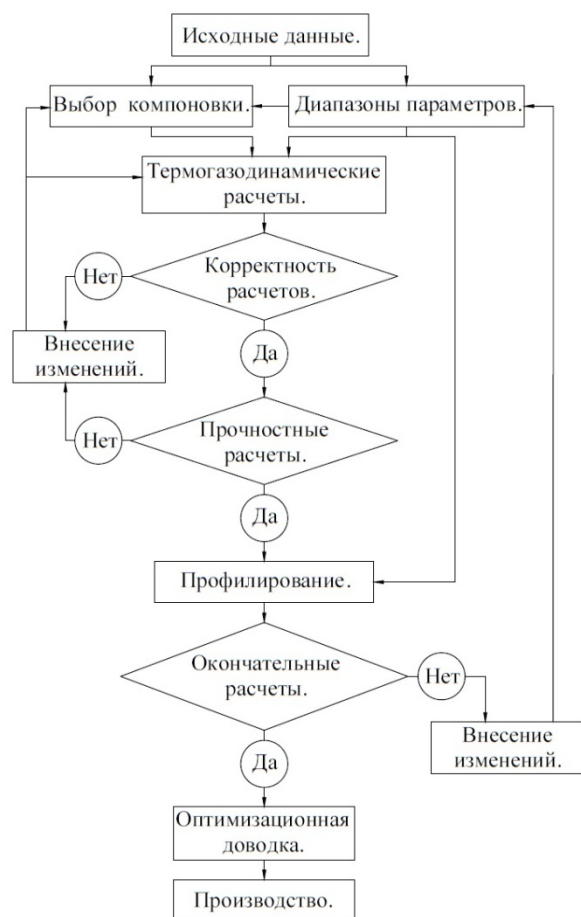


Рис. 1. Общая структурная схема.

Большинство центробежных компрессоров, эксплуатируемых на газотранспортных предприятиях отечественного магистрального газопровода, выполнены в одно или двухступенчатом исполнении. В разработанном программном коде реализована возможность проектирования одно и двухступенчатых конструкций компрессоров, а при внесении незначительных изменений появится возможность проектирования многоступенчатых ЦБК.

На этапе выбора компоновки проточной части осуществляется вариантные расчеты, на основании которых выбираются оптимальные с точки зрения технического задания геометрические параметры рабочих колес, диффузоров и обратного направляющего аппарата. Например, при лопаточном угле выхода из рабочего колеса менее  $45^\circ$  выбирается одноярусная конструкция, а при угле более  $45^\circ$  целесообразно применять два яруса лопаток. Имеется возможность выбора лопаточного (ЛД) или безлопаточного диффузора (БЛД). При необходимости обеспечить приемлемый уровень КПД ЦБК в широком диапазоне режимов работы предпочтительно выбирать БЛД. Если эксплуатационный диапазон компрессора достаточно узок, то для обеспечения относительно большого значения КПД рекомендуется использовать ЛД. Также на данном этапе осуществляется проверка соответствия габаритов проектируемого ЦБК техническому заданию.

После выбора варианта компоновки проточной части и проведения термогазодинамических расчетов элементов компрессора производится определение политропного КПД ступеней и оценка корректности расчетов. В случае необходимости вносятся изменения в конструкцию на этапе выбора компоновки ЦБК. Данный этап заканчивается выбором и расчетом типа выходной улитки. Далее проводятся прочностные расчеты вала, лопаточного аппарата и дисков рабочих колес. При удовлетворительных результатах всех проверок осуществляется профилирование лопаток рабочих колес, диффузоров и обратного направляющего аппарата, а также меридиональных обводов проточной части. Построение лопаточного аппарата производится по трем сечениям, при необходимости количество сечений может быть увеличено. Разработанный программный код позволяет получать файлы с геометрией лопаток и меридиональными обводами компрессора, которые могут использоваться в программных комплексах трехмерного моделирования.

С использованием разработанного программного кода спроектирован двухступенчатый центробежный компрессор, предназначенный для сжатия и транспортирования природного газа по магистральным газопроводам с рабочим давлением 7,45 МПа. Прототипом спроектированного компрессора послужила сменная проточная часть реального нагнетателя. Проектирование выполнено на отношение давлений  $\pi_k = 1,35$  и объемный расход  $425 \text{ м}^3/\text{мин}$ , в двухступенчатом исполнении. Привод спроектированного компрессора осуществляется от газотурбинной установки. Частота вращения ротора силовой турбины – 5300 об/мин.

Мощность, потребляемая ЦБК, составляет 14,5 МВт. На рис. 2. представлена трехмерная модель проточной части спроектированного компрессора, полученная в разработанном программном коде.

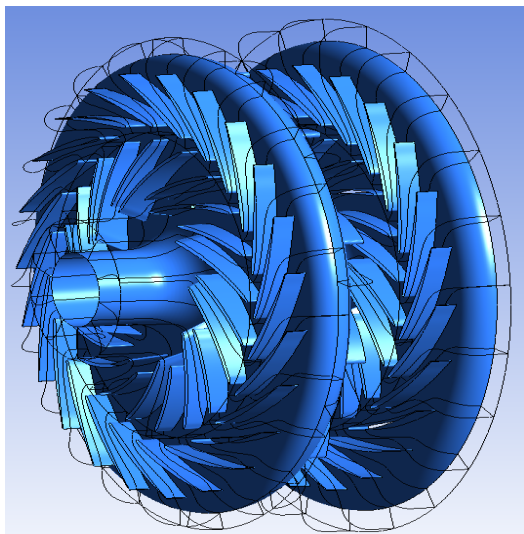


Рис. 2. Трехмерная модель спроектированного центробежного компрессора.

В ходе работы проведено численное исследование течения в прочной части спроектированного компрессора. Моделирование течения осуществлялось в программном комплексе Ansys CFX [4]. Параметры расчетной сетки соответствуют параметру  $y^+ < 300$ . Модель турбулентности - k-ε standard. Интерфейс между венцами - stage. Граничные условия задавались по принципу: полное давление и температура на входе и статическое давление на выходе. На рис. 3. представлена расчетная область проточной части спроектированного компрессора.

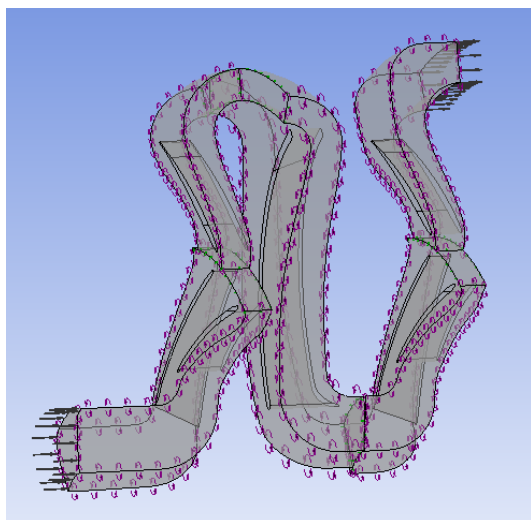


Рис. 3. Расчетная область проточной части спроектированного центробежного компрессора.

На рис. 4 представлены газодинамические характеристики спроектированного ЦБК, полученные в ходе численного моделирования его работы. Черными точками показан номинальный режим, на параметры которого осуществлялось проектирование. Видно, что полученные в ходе численного исследования характеристики компрессора практически проходят через проектную точку. В действительности номинальный режим работы ЦБК достигнут при несколько большем объемном расходе относительно проектных данных.

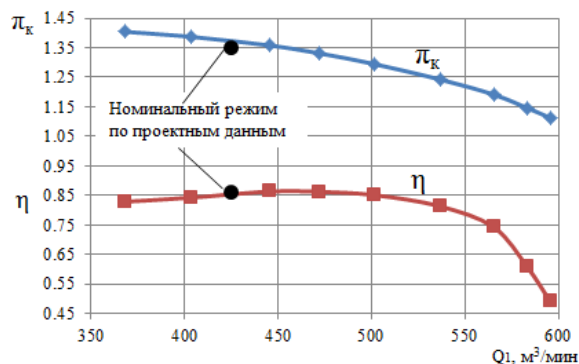


Рис. 4. Характеристики спроектированного ЦБК.

Разработанный программный код может применяться для проектирования проточной части газовых центробежных компрессоров на условия номинального режима. В ходе работы проведена апробация методики при численном исследовании спроектированного ЦБК, на основании которой подтверждена применимость используемого подхода. Дальнейшим этапом является оптимизационная доводка проточной части ЦБК.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ваяншов А.Д., Кустиков Г.Г., Расчет и конструирование центробежных компрессорных машин: Учеб. пособие. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2005. – 208 с.
2. Рис В.Ф. Центробежные компрессорные машины. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, 1981. – 351 с.
3. Селезнев К.П., Галеркин Ю.Б. Центробежные компрессоры. – Л.: Машиностроение, 1982. – 271 с.
4. Блинов, В. Л. Выбор параметров расчетной модели при решении задач многокритериальной оптимизации плоских компрессорных решеток / В. Л. Блинов, Ю. М. Бродов, В. А. Седунин, О. В. Комаров // Компрессорная техника и пневматика. – 2015. – № 1. – С. 36–42.